

Механізми та способи дискретної обробки на верстатному обладнанні

У статті розглянуті механізми та способи обробки на металорізальному обладнанні з дискретною подачею. Застосування дискретної обробки дозволяє поліпшити умови обробки і таким чином підвищити вихідні параметри металорізального обладнання по якості та розширити його технологічні можливості.
нестаціонарне різання, дискретна подача, вібраційна обробка, спосіб обробки

Для обробки на сучасному верстатному обладнанні, а саме на верстатах з адаптивним управлінням, верстатах з ЧПУ, оброблювальних центрах, верстатах оснащених мікропроцесорним управлінням, притаманні нестаціонарні процеси різання [1]. Нестаціонарні процеси різання через зміну умов різання суттєво впливають на результативність обробки – продуктивність, точність та якість обробки, період стійкості інструмента та ін.

Одним з розповсюджених видів нестаціонарного різання є обробка зі змінною подачею. Шляхом зміни подачі як функції довжини обробки або підтримання постійного значення подачі на оберт в умовах безступеневого регулювання частотами обертання шпинделю можливо забезпечити підвищення продуктивності і точності обробки [1]. Також можливо забезпечити кінематичне стружколамання за рахунок переривання подачі [2].

На верстатному обладнанні зміна подачі відбувається наступним чином. Наприклад, для верстатів з ЧПУ, у відповідності до програми забезпечуються два рухи різця: переносний рівномірний рух з подачею S_0 та відносний рух з подачею ΔS_0 , який підпорядковується закону релаксації коливаль. В результаті різальна кромка здійснює вривання й швидке відведення. В залежності від умов співвідношення між S_0 та ΔS_0 умовно розрізняють: вібраційне, дискретне або переривчасте різання (в останньому випадку різець періодично виходить із контакту з деталлю).

На верстатному обладнанні без ЧПУ процес вібраційного (дискретного) різання реалізують шляхом накладання додаткового вібраційного руху на інструмент або заготовку. Для забезпечення низькочастотних коливань (до 50 Гц) використовують механічні, пневматичні або гідравлічні вібратори [2], а високочастотні коливання генерують п'єзоелектричні, магнітострикційні, електрострикційні, електрогідравлічні та ін. вібратори [3].

При вібраційній обробці виникають такі умови різання, що знижується рівень сил та температур різання, а значить покращують умови роботи інструмента. Процес різання з безперервного стає переривчастим, що змінює умови стружкоутворення, а різальні кромки отримують можливість періодичного відпочинку внаслідок короткочасного зменшення або повного зняття навантажень. Відпадає необхідність в стружкозламних виступах та лунках, що послаблюють різальний клин. Необхідно зазначити, що вібраційна обробка має і негативні наслідки: змінне навантаження на різальні кромки, зростання висоти мікронерівностей (шорсткості) обробленої поверхні, зниження довговічності важливих вузлів верстату, ускладнення верстатного обладнання в зв'язку з необхідністю вбудовування додаткового вібраційного приводу та

вібратору, обов'язкова наявність висококваліфікованого персоналу для налагодження та підбору оптимальних умов різання такому верстатного обладнання.

В той час, як застосування дискретного методу різання, що полягає в періодичній зупинці різця на час, достатній для переривання процесу різання, має ряд додаткових переваг та позбавлений деяких недоліків, притаманних вібраційному різанню з високочастотними коливаннями. Встановлено [1], що при дискретному різанні знижуються коефіцієнти тертя на передній та задній поверхнях різця, а також температура в зоні різання. Внаслідок цього відносний знос різців при дискретному точінні в 1,3-1,5 рази нижче ніж при безперервному, причому для випадку дискретного точіння характерна оптимальна температура різання. Відбувається також збільшення періоду стійкості різців та покращення шорсткості обробленої поверхні, особливо в зоні малих подач та малих кутів ϕ_1 .

Однак практична реалізація дискретної обробки у верстатному обладнанні зіткнулася з певними складностями. При реалізації дискретної обробки відбувається переміщення інструменту під кутом до осі обертання заготовки, що вносить свої ускладнення в умови використання таких способів. Вказаний кут нахилу залежить від геометрії різця, що, з одного боку, ускладнює конструкцію, а з іншою обмежує область можливого використання способів та механізмів для їх здійснення. Також внаслідок того, що дискретну обробку на верстатному обладнанні здійснюють, як правило, шляхом переривання подачі, відбувається зниження продуктивності обробки порівняно із звичайною майже в 2 рази.

Таким чином, перспективним є створення механізмів та способів дискретної обробки, які б мали притаманні для такої обробки переваги та одночасно усували вказані недоліки.

Спростити конструкцію та розширити область можливого використання дозволить наступний спосіб обробки, при якому заготовці і інструменту надають відносний рух формоутворення, а подачу здійснюють дискретно, причому в кожному циклі після дискретного переміщення різця у напрямі подачі його додатково переміщують в тому ж напрямку наперед фіксовану величину шляхом ступінчастої зміни жорсткості технологічної системи верстата, причому додаткове переміщення здійснюють у напрямі руху подачі, а ступінчаста зміна жорсткості технологічної системи верстата здійснюється в тому ж напрямку. В кожному циклі після дискретного переміщення різця у напрямі подачі його додатково переміщують наперед фіксовану величину у напрямі руху подачі. Пристрій для здійснення способу розташований вільно на супорті і забезпечений що найменше двома упорами і спирається на пружину в напрямі зворотному руху подачі, а сила дії пружини на різцетримачі прийнята з нижче приведенного співвідношення.

Спосіб здійснюється в такій технологічній послідовності. Деталь 1 (рис. 1), як завжди, закріплюється в патроні шпинделя верстата, їй забезпечується обертання з частотою n , згідно заданій швидкості різання. Різець 2 закріплюють в різцетримачі 3, який встановлений на супорті, показаному на рис. 2. Супорту верстата надають циклічний рух подачі.

В кожному циклі руху супорта жорсткість, як здатність елементів технологічної оброблювальної системи (ТОС) чинити опір деформації у напрямі руху подачі, ступінчасте змінюють. Ступінчаста зміна жорсткості різцетримача здійснюється шляхом зміни характеристики його пари (пружина або "жорсткий упор"). Число ступенів зміни жорсткості приймають по кількості проходів. Частоту дискретних переміщень супорта визначають із співвідношення:

$$K \leq \frac{n \cdot m}{z}, \quad (1)$$

де K – частота дискретних переміщень супорта в хвилину;
 n – частота обертання шпинделя, об/хв.;
 m – кількість ріжучих інструментів, рівномірно розташованих по колу оброблюваної поверхні;
 z – кількість ступенів жорсткості.

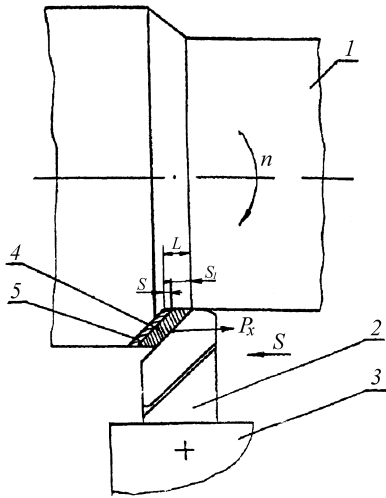


Рисунок 1 – Схема здійснення способу дискретної обробки

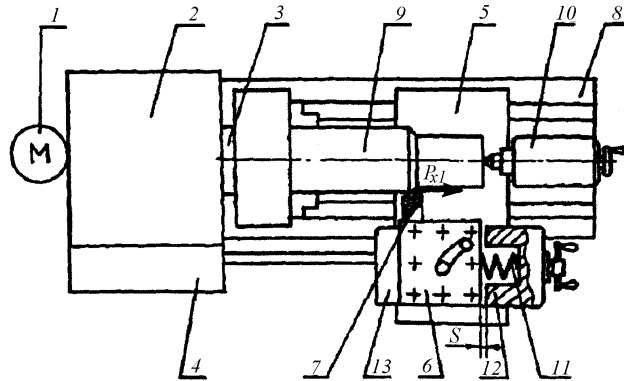


Рисунок 2 – Конструкція верстату для здійснення способу дискретної обробки

Ступінчаста зміна жорсткості ТОС у напрямку руху подачі забезпечує багатопрохідну обробку в кожному циклі рухів супорта. З приведеної на рис. 1 схеми витікає, що за час першого оберту деталі 1 в циклі обробки відбувається врізання різця 2 в заготовку 1 на величину подачі S , і потім різець зрізує шар перетином 4.

Для цього заготовці необхідно здійснити один оберт. Потім ступінчаста змінна жорсткості ТОС забезпечує врізання різця 2 в заготовку на величину подачі S і при подальшому обертанні заготовки різець 2 зрізає шар металу перетином 5. Надалі циклічний процес обробки повторюється до повної обробки поверхні.

З електродвигуна 1 (рис. 2) через коробку швидкостей 2 деталі 9, закріпленої в патроні шпинделя 3 верстата, та підтисненої центром задньої бабки 10, надається обертання з частотою, що забезпечує задану швидкість різання. Механізм циклічної подачі, встановлений на супорті настраюється на частоту, яка виходить із співвідношення (1).

На початку обробки різець 7 виставляється на повну глибину обробки і супорту 5, встановленому на напрямних станини 8 через коробку подач 4, надається циклічна подача. Різець 7 врізається в заготовку 9 на величину подачі S_1 , яка більше величини S (відстань між двома фіксованими положеннями різцетримача 6). Складова P_x сили різання стискає пружину 11 і притискує різцетримач 6 до упора 12, так як сила пружини $P_{пр}$ приймається із співвідношення:

$$P_{x1} \geq P_{пр} \geq P_{x2}, \quad (2)$$

де P_{x1} і P_{x2} – осьові складові сили різання у напрямі руху подачі першого і другого проходу.

За перший оберт заготовки при одному різці 7, встановленому в різцетримач 6, різець зрізає шар металу на величину подачі S . Зрізав шар металу, різець звільняється і пружина 11 переводить різцетримач 6 з різцем 7 в друге фіксоване положення і притискує його до упора 13. Різець 7 зміщується у напрямку подачі на величину S (переходить в положення, показане на кресленні). Величина подачі S менше подачі S_1 , тому зменшуються сили різання і пружні деформації ТОС у напрямку утворення

розміру та підвищується точність обробки. Заготовка відповідно до приведених вище співвідношень частоти обертання шпинделя здійснює черговий оберт. Після зрізання чергового шару металу цикл обробки повторюється до її закінчення. В результаті забезпечується кінематичне дроблення стружки і двопрхідна обробка з подачею S_1 і S .

Традиційна багатопрхідна обробка передбачає багатократне проходження однієї і тієї ж елементарної ділянки заготовки різальною кромкою інструмента. В даному способі ефект багатопрхідної обробки досягається тим, що кожна елементарна ділянка завдовжки L обробляється за два оберти заготовки.

При першому оберті знімається основний шар металу і цю обробку елементарної ділянки можна назвати першим проходом. Потім відбувається ступінчаста зміна жорсткості в ТОС, а при наступному обороті відбувається точіння при новому перетині шару, що зрізається (другий прхід елементарної поверхні).

Оскільки надалі цикл повторюється, кожна елементарна ділянка обробляється двічі, що еквівалентно по досяжному ефекту двом проходам. Якщо точність обробки порівнювати з традиційною однопрхідною обробкою, то вона буде вище, тому що остаточне формоутворення поверхні відбувається при порівняно малих силах різання (зменшується деформація ТОС і підвищується точність).

Так, при точінні із швидкістю 20 м/хв. час врізання на глибину 5 мм складе приблизно 0,015 сек. Час одного оберту заготовки при діаметрі заготовки, рівному 200 мм, складає 2 сек. Звідси виходить, що основну частину часу відбувається точіння на вистою різця. Це дозволяє підвищити продуктивність порівняно з двопрхідною обробкою, оскільки виключається необхідність повернення різця в початкове положення і вторинної установки різця на глибину обробки. При двох, трьох і т.д. різцях, рівномірно розташованих по колу оброблюваної поверхні в різцетримачі 6, процес обробки здійснюється аналогічно, а відповідно до залежності (1) змінюється частота дискретних переміщень супорта у напрямі руху подачі.

Підвищення продуктивності і ефективності досягається за рахунок виключення необхідності повернення різця в початкове положення і вторинної установки різця на глибину обробки. Крім того, виходить ефект дроблення зливної стружки.

Здійснити спосіб дискретного точіння можливо також, користуючись як керуючої тангенціальною складовою сили різання P_z . На відміну від розглянутого способу (рис. 1, 2), де керуючою була осьова складова сили різання P_x , додаткове переміщення різця у напрямі руху подачі наперед задану фіксовану величину здійснюють складовою сили різання P_z шляхом гвинтового повороту в плані різальної пластини у напрямі врізання вершини в зрізаємий припуск по вертикальній осі (рис. 3).

Спосіб здійснюється наступним чином. Деталь 1 (рис. 4), як завжди, встановлюється в патроні шпинделя 5 верстата, їй надається обертання з частотою n , що забезпечує задану швидкість різання. Різець 2 закріплюють в різцетримачі 3, який встановлений на супорті 4, супорту 4 верстата надають циклічний рух подачі. Цикл складається з переміщення супорта 4 на величину дискретної подачі, після чого шпиндель 5 робить два оберти.

За час першого оберту шпинделя 5 багатогранна пластинка 6 зрізає шар металу перетином чотирикутника (заштрихована частина рис. 1).

За час другого оберту шпинделя 5 жорсткість, як здатність ТОС чинити опір деформації у напрямі дії сили P_z , ступенево змінюють. Ступінчасту зміну жорсткості різцетримача здійснюють шляхом зміни характеристики його пари: пружина – упор. Число ступенів зміни жорсткості приймають по числу проходів.

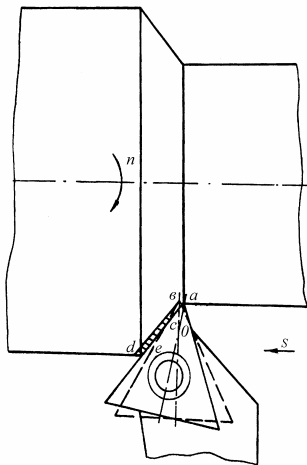


Рисунок 3 – Схема здійснення способу

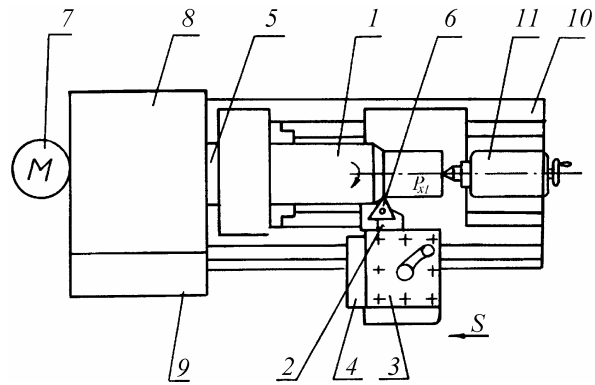


Рисунок 4 – Схема приводу верстата для здійснення способу

Ступінчата зміна жорсткості технологічної системи верстата у напрямі дії сили P_z забезпечує багатопрохідну обробку в кожному циклі руху супорта. З приведеної на рис. 1 схеми витікає, що за час першого обороту деталі 1 в циклі обробки відбувається врізання різця 2 в заготовку 1 на величину подачі S і зрізання шару перетину чотирикутника (заштрихована частина).

Для цього заготовці 1 необхідно надати один оберт. Потім ступенево змінна жорсткість системи забезпечує врізання різця 2 в заготовку на величину подачі $a-b$ і при подальшому обертанні заготовки 1 він зрізає шар трикутним перетином $a-b-c$. Надалі циклічний процес обробки повторюється до повної обробки поверхні.

Верстат містить привід головного руху, який включає електродвигун 7, коробку швидкостей 8 і шпиндель 5, привід подачі, що включає коробку подачі 9, супорт 4, різцетримач 3, різець 2. На станині 10 верстата встановлені всі вузли верстата, у тому числі коробка швидкостей 8 з шпинделем 5, в якому закріплюється оброблювана деталь 1. Вільний кінець деталі 1 підтискається центром задньої бабки 11. Різцетримач 3 встановлений на супорті 4.

Жорсткість установки пластини у напрямі дії тангенціальної складової (P_z) сили різання змінюють ступенево, силу пружної установки пластини приймають із співвідношення:

$$P_{z1} \geq P_2 \geq P_{z2}, \quad (3)$$

де P_{z1} , P_{z2} – тангенціальна складова сили різання відповідно першого проходу і другого проходу;

P_2 – сила пружної установки пластини першого ступеня жорсткості.

Переміщення вершини в тіло припуску, що знімається, вибирають із співвідношення:

$$h > S,$$

де h – довжина дуги, на яку повертають вершину пластини;

S – величина дискретної подачі.

На початку обробки різець 2 встановлюється на повну глибину обробки і супорт 4 надається циклічна подача. Різець 2 врізається в заготовку 1 на величину подачі S , яка менше величини $a-b$ відстані між двома фіксованими положеннями пластини. Складова P_z сили різання стискає пружину і притискує пластину 6 до нижнього упора, оскільки сила пружини приймається із співвідношення (3).

Зрізаючи шар металу, різець звільнюється і пружина переводить пластину 6 в друге фіксоване положення по висоті і притискує його до верхнього упора, вершина пластини зміщується у напрямі подачі на величину $a-b$. Величина перетину $a-b-c$ менше

перетину *a-b-c-e*, тому сила різання і пружні деформації технологічної системи верстата у напрямі отриманого розміру зменшуються та підвищується точність обробки.

Заготовка, відповідно до заданої частоти обертання шпинделя, робить черговий оборот, пластина зрізає черговий шар металу меншого перетину, після чого цикл обробки повторюється до її закінчення. В результаті забезпечується кінематичне дроблення стружки і двохпрохідна обробка з двома різними перетинами зрізу за один прохід. Традиційна багатопрохідна обробка передбачає багатократне проходження однієї і тієї ж ділянки. Схема такого проходження цього не передбачає, проте ефект багатопрохідної обробки зберігається. Полягає він в тому, що кожна елементарна ділянка довжини обробляється за два оберти заготовки.

При першому обороті знімається основний шар металу, і цю обробку елементарної ділянки можна назвати першим проходом. Потім відбувається ступенева зміна жорсткості в ТОС і при наступному обороті відбувається точіння при новому перетині шару, що зрізається (другий прохід).

Якщо розглянути вплив жорсткості ТОС на величину зрізаемого шару, то не важко переконатися, що при першому чорновому проході оброблятиметься поверхня максимального діаметра. Після другого чистового проходу буде оброблена поверхня меншого діаметра, а значить в кожному циклі такого способу обробки здійснюється два проходи. В результаті підвищується якість обробки порівняно з однопрохідною обробкою і продуктивність порівняно з традиційною двохпрохідною обробкою, оскільки виключається необхідність повернення різця в початкове положення і вторинної установки різця на глибину обробки, крім того, забезпечується дроблення стружки. При двох, трьох т.д. різцях, рівномірно розташованих по колу оброблюваної поверхні в різцетримачі 3, процес обробки здійснюється аналогічно, але змінюється частота дискретних переміщень супорта у напрямі подачі.

Зниження складових сили різання чистового проходу веде до зниження деформації елементів ТОС у напрямі утворення розміру обробки. Таким чином підвищується точність обробки. При врізанні різця із швидкістю різання точіння відбувається практично при вистою різця, що покращує умови його роботи.

Зазвичай, при обробці на токарних верстатах кінематичне дроблення стружки здійснюють шляхом переривання подачі. Для надійного дроблення стружки необхідно після кожного оберту заготовки виключати подачу на час одного оберту заготовки. Таке переривання подачі порівняно із звичайним точінням знижує продуктивність майже в два рази. Це вимагає нових рішень в області дискретної обробки. Завдання полягає в тому, щоб скоротити час вистою і, в той же час, забезпечити надійне дроблення стружки. Проведені дослідження показали, що максимальну швидкість дискретної подачі можна збільшити до швидкості різання без істотного зниження стійкості інструменту. Процес токарної обробки в цьому випадку можна вести в такому режимі. При рівномірному обертанні заготовки подачу здійснювати циклічно після кожного оберту заготовки, причому максимальне значення швидкості подачі в циклічному русі не повинне перевищувати швидкість різання. Оскільки величина дискретної подачі, як правило, не перевищує 1 мм, то й час, витрачений на дискретне врізання, не перевищує 10 відсотків часу одного оберту. Така дискретна обробка підвищує продуктивність процесу в 1,8-1,9 рази. Одночасно з підвищенням продуктивності така обробка сприяє підвищенню точності, оскільки ведеться, в основному, при одному обертальному русі заготовки, а супорт включається лише періодично. Практичну реалізацію запропонованого способу обробки можна реалізувати за допомогою схеми, приведеної на рис. 5.

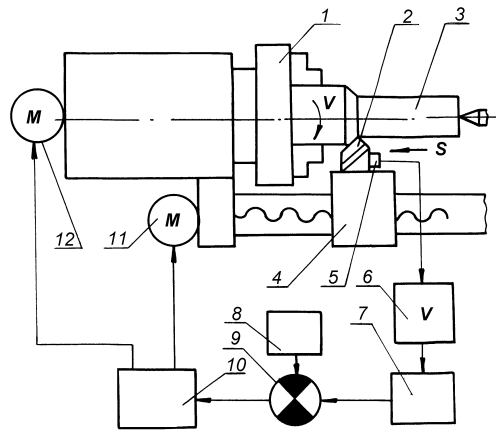


Рисунок 5 – Дроблення стружки при обробці в'язких матеріалів

В процесі обробки заготовки 3, закріпленою в патроні 1, заготовці надається рівномірне обертання із заданою швидкістю. Встановлений на супорті 4 різець 2 пов'язаний з датчиком 5 навантаження. При зниженні навантаження і при її відсутності на початку обробки сигнал з датчика через підсилювач 6 і перетворювач 7 надходить на порівняльний пристрій 9, куди одночасно подається сигнал із задавального пристрою 8. Результуючий сигнал через управляючий пристрій 10 включає двигун 11 повздовжньої подачі. Як тільки сила різання досягне граничного значення, подача вимикається, супорт 4 зупиняється, і процес обробки здійснюється при обертанні заготовки і нерухомому супорті. Як тільки різець 2 зріже шар металу на глибину чергового врізання, навантаження на різці знизиться, і система включить подачу. У такому режимі дискретної обробки забезпечується надійне дроблення стружки незалежно від режиму різання і геометрії інструменту. Розглянута схема має можливість управляти одночасно і приводом головного руху через двигун 12 з метою отримання нерівномірного обертання заготовки 3, узгодженого з дискретною подачею супорта 4.

Як правило, конструктивна реалізація методів дискретної обробки накладає певні технологічні обмеження на верстатне обладнання. Для розширення технологічних можливостей шляхом обробки отворів під різними кутами верстатного обладнання призначений пристрій для дискретної подачі робочого органу верстата (рис. 6).

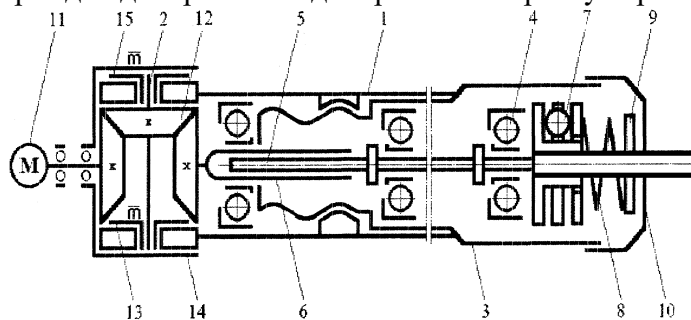


Рисунок 6 – Пристрій для дискретної подачі робочого органу верстату

Конструкція пристрою складається з корпусу 1, встановленого на вісь 2. Піноль 3 з'єднано з корпусом самогальмівною різьбою. В пінолі 3 на радіально-упорних підшипниках 4 встановлено шпиндель 5. Шпиндель 5 з'єднано з втулкою 6 шпонкою. На шпинделі встановлено вібратор 7. Ведене кільце вібратора 7 опирається на пружину 8, яка регулюється гайкою 9. Вібратор, пружина і гайка закриті кришкою 10.

Обертання від електродвигуна 11 передається через конічний диференціал втулці 6. Через шпонкове з'єднання втулка 6 передає обертання шпинделю 5. При обертанні шпинделя 5 і закріпленого на ньому ведучого кільця вібратора 7 ведене

кільце вібратора здійснює осьові коливання. Одночасно на веденому кільці, встановленому на пінолі 3, виникають пульсації крутячого моменту, які періодично повертають піноль 3 в різьбі корпусу 1. Таким чином, піноль, періодично повертаючись, передає інструменту дискретну подачу синхронно осьовим коливанням веденого кільця вібратора 7. Регулюванням пружини 8, яка замикає шариковий вібратор, забезпечується зміна подачі у широкому діапазоні.

Короткочасним фіксуванням планетарної шестерні 12 в корпусі 1 за допомогою гальмівної муфти 13 забезпечується поворот корпусу 1 відносно кронштейна 14 на необхідний кут, а фіксуванням корпусу 1 в кронштейні 14 за допомогою гальмівної муфти 15 забезпечується закріплення корпусу 1 відносно кронштейна 14 під необхідним кутом. Кут повороту визначається за допомогою вимірювальної шкали, нанесеної на корпусі 1 пристрою. Муфти включені інверсно в систему керування, зміною шпаруватості струму живлення муфт забезпечується їх плавне регулювання.

Відведення інструменту із зони обробки здійснюється реверсуванням електродвигуна 11. Оскільки привод при реверсуванні не навантажується, швидкість подачі збільшується, і відведення здійснюється в прискореному режимі.

Запропонований пристрій робочого органу верстату забезпечує обробку отворів інструментом з дискретною подачею під різними кутами.

Висновки. Для сучасного верстатного обладнання характерна обробка з нестаціонарним різанням. Тому, необхідно при проектуванні та експлуатації цього обладнання враховувати та використовувати корисні особливості такої обробки.

Розповсюдженим видом нестаціонарного різання є обробка з дискретною подачею. Застосування змінної подачі призводить до поліпшення умов різання, зменшення зносу інструмента, а значить збільшення періоду стійкості, покращенню шорсткості обробленої поверхні.

Однак при розробці та проектуванні конструкцій механізмів та способів обробки, що реалізують обробку з дискретною подачею, зіткнулися з рядом ускладнень. Головними серед яких є зменшення продуктивності внаслідок необхідності переривання подачі на певний час та обмеження технологічних можливостей верстатного обладнання.

Запропоновані механізми та способи обробки з дискретною подачею, наряду з характерними для такої обробки перевагами одночасно дозволяють підвищити продуктивність обробки та розширити область можливого використання верстатного обладнання.

Список літератури

1. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн.– Мн.: Выш. шк., 1990.– 512 с.
2. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М., "Машиностроение", 1970.– 350 с.
3. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова.– М.: Машиностроение, 1985.– 424 с.

В статье рассмотрены механизмы и способы обработки на металлорежущем оборудовании с дискретной подачей. Применение дискретной обработки позволяет улучшить условия обработки и таким образом повысить выходные параметры металлорежущего оборудования по качеству, а также расширить его технологические возможности.

In the article mechanisms and methods of treatment are considered on a metal-cutting equipment with a discrete serve. Application of discrete treatment allows to improve the terms of treatment, promote exactness of metal-cutting equipment and extend his technological possibilities.

Одержано 16.10.06